

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-153720  
(P2001-153720A)

(43) 公開日 平成13年6月8日(2001.6.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード(参考)
G 0 1 J	1/02	G 0 1 J 1/02	C 2 G 0 6 5
	5/02	5/02	C 2 G 0 6 6
	5/48	5/48	F 4 M 1 1 8
H 0 1 L	27/14	H 0 1 L 27/14	K

審査請求 有 請求項の数17 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平11-340323

(22) 出願日 平成11年11月30日(1999. 11. 30)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 小田 直樹

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100088328

弁理士 金田 暢之 (外2名)

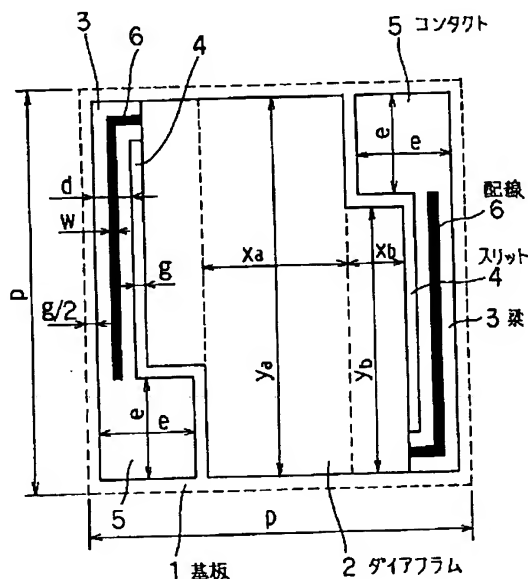
Fターム(参考) 2G065 AA04 AB02 BA11 BA12 BA13  
BA14 BA34 CA13 DA18  
2G066 AA20 BA09 BA55 BB09  
4M118 AA10 AB10 BA05 CA16 CA19  
CA32 CA35 CB12 CB14 FB20

(54) 【発明の名称】 熱型赤外線検出器

(57) 【要約】

【課題】 画素の大きさに応じて温度分解能を最小とするような最適な長さの梁を有する熱型赤外線検出器を提供する。

【解決手段】 読み出し回路が設けられた基板1には、ボロメータ薄膜を含むダイアグラム2と、ダイアグラム2を基板1と間隔をあけて支持する2本の梁3とを有する画素が配列される。各梁3には、ボロメータ薄膜と読み出し回路とを接続するための配線6が設けられている。各梁3の長さは、各梁3の長さを画素の周長の1/4で割った梁長指数によって与えられる。梁長指数は、温度分解能の式に基づいて、画素のパターニングに用いられるステッパの種類及び配線6の材料の熱伝導率に応じて求められた、画素ピッチをパラメータとする近似式で与えられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $i$ 線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = -1.8 \times 10^{-4}p^3 + 1.4 \times 10^{-2}p^2 - 0.27p + 2.5$ とし、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.10 \leq k \leq 0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = -1.5 \times 10^{-4}p^3 + 1.3 \times 10^{-2}p^2 - 0.24p + 2.3$ とし、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.16 \leq k \leq 0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = -1.1 \times 10^{-4}p^3 + 9.6 \times 10^{-3}p^2 - 0.17p + 1.8$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$ で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項2】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $g$ 線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = -2.5 \times 10^{-5}p^3 + 1.9 \times 10^{-3}p^2 - 3.2p + 0.14$ とし、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.10 \leq k \leq 0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = 0.070p - 0.35$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$ で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項3】 前記配線の材料は、 $\text{Ti}$ を主成分とし少なくとも $\text{Al}$ を含む合金、 $\text{Ni}-\text{Cr}$ 合金、 $\text{Ti}$ 、または $\text{Ti}$ を主成分とし $\text{Al}$ を含まない合金のいずれかである、請求項1または2に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項4】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $i$ 線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けら

れた配線とを有し、

前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  ( $\text{msec}$ )であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 35$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.083p - 0.21$ とし、前記配列ピッチ $p$ が $35 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 11/(p - 30)$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$ で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項5】 前記配線の材料は、 $\text{Ti}$ を主成分とし少なくとも $\text{Al}$ を含む合金である、請求項4に記載の熱が多赤外線検出器。

【請求項6】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $i$ 線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.10 \leq k \leq 0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  ( $\text{msec}$ )であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 35$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.096p - 0.47$ とし、前記配列ピッチ $p$ が $35 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 16/(p - 30)$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$ で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項7】 前記配線の材料は $\text{Ni}-\text{Cr}$ 合金である、請求項6に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項8】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $i$ 線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.16 \leq k \leq 0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  ( $\text{msec}$ )であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 35$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.096p - 0.47$ とし、前記配列ピッチ $p$ が $35 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = -0.14p + 7.9$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$

で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項9】 前記配線の材料は、TiまたはTiを主成分としAlを含まない合金である、請求項8に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項10】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチpが $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、g線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、

前記配線の材料の熱伝導率kが $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  (msec)であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数nが、前記配列ピッチpが $15 \leq p \leq 35$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.070p - 0.35$ とし、前記配列ピッチpが $35 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = -0.099p + 5.5$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$

で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項11】 前記配線の材料は、Tiを主成分とし少なくともAlを含む合金である、請求項10に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項12】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチpが $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、

前記各画素はそれぞれ、g線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、

前記配線の材料の熱伝導率kが $0.10 \leq k \leq 0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  (msec)であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数nが、前記配列ピッチpが $15 \leq p \leq 40$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.066p - 0.28$ とし、前記配列ピッチpが $40 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = -0.15p + 6.1$ として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$

で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項13】 前記配線の材料はNi-Cr合金である、請求項12に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項14】 読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチpが $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、

前記各画素はそれぞれ、g線ステップによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板

と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、

前記配線の材料の熱伝導率kが $0.16 \leq k \leq 0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )で、かつ熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  (msec)であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数nが、前記配列ピッチpが $15 \leq p \leq 40$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = 0.073p - 0.42$ とし、前記配列ピッチpが $40 < p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )の場合は $N = -0.14p + 8.4$ として、

$0.85N \leq n \leq 1.15N$

で与えられている、熱型赤外線検出器。

【請求項15】 前記配線の材料は、TiまたはTiを主成分としAlを含まない合金である、請求項14に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項16】 前記梁は前記受光部の外周に沿って延びており、前記梁と前記受光部との間隔gは $0.3 \leq g \leq 0.5$  ( $\mu\text{m}$ )の範囲の大きさである、請求項1、4、6または8に記載の熱型赤外線検出器。

【請求項17】 前記梁は前記受光部の外周に沿って延びており、前記梁と前記受光部との間隔gは $0.7 \leq g \leq 1.0$  ( $\mu\text{m}$ )の範囲の大きさである、請求項2、10、12または14に記載の熱型赤外線検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、温度分解能を最小とする熱分離構造を有する熱型赤外線検出器に関する。

【0002】

【従来の技術】熱型赤外線検出器には、ボロメータ型、焦電型、及び熱電対型があるが、これらは検出感度を向上させるため一般的に、熱分離構造、いわゆるダイアフラム構造を有している。つまり、受光部の外縁端が複数の梁によって基板と間隔をあけて支持された構造を有する。

【0003】以下に、従来の熱型赤外線検出器の熱分離構造のいくつかの例について説明する。

【0004】図9は、Santa Barbara Research Center社が開発した $320 \times 240$ 画素のサーミスターボロメータ型赤外線検出器の1画素についての模式的平面図である(W.Radford等、SPIE、Vol.2746、1996年、p82)。この赤外線検出器の画素ピッチは $48 \mu\text{m}$ である。画素は、読み出し回路が設けられた基板101と、2本の梁103により基板101と間隔をあけて支持されるダイアフラム(受光部)102とからなり、チップ全体は真空パッケージの中に実装されている。ダイアフラム102は、サーミスターボロメータ材料薄膜とそれを取り囲む保護膜で構成される。一方、梁103は、コンタクト105を介して読み出し回路とサーミスターボロメータ材料薄膜とを電気的に接続する配線材料とそれを取り囲む

保護膜で構成されている。

【0005】ダイアフラム102に赤外線が入射すると、入射した赤外線はダイアフラム102によって吸収されて熱となり、ダイアフラム102の温度を上昇させる。この温度上昇によりサーミスターボロメータ材料薄膜の抵抗値が変化し、チップ内の読み出し回路により電気信号に変換され、赤外線の検出結果として画像化される。

【0006】検出器の感度を上げるにはダイアフラム102が吸収した熱を基板101へできるだけ逃さないようにすること、つまり、ダイアフラム102の熱コンダクタンスを小さくすることが重要である。熱型赤外線検出器では、多くの場合、チップを真空パッケージ内に実装し、かつ、梁103を細く薄くすることによって、ダイアフラム102の熱コンダクタンスを小さくしている。

【0007】図10は、Lockheed-Martin社による320×240画素のサーミスターボロメータ型赤外線検出器の1画素についての模式的平面図である(C.Marshall等、SPIE、Vol.2746、1996年、p23)。この赤外線検出器の画素ピッチは46.25μmである。図10に示す例も、図9に示したものと同様に、基板111と、2本の梁113によって基板111と間隔をあけて支持されたダイアフラム112と、コンタクト115とを有し、赤外線の検出現理も図9に示したものと同様である。図9に示すものと図10に示すものとの相違点は、図10に示すものは、梁113がダイアフラム112の外周に沿って折り曲げられ、図9に示すものに比べて長くなっている点である。これにより、ダイアフラム112の熱コンダクタンスが小さくなるので、検出感度が向上する。

【0008】図11(a)～(e)は、National Optics Instituteによるサーミスターボロメータ型赤外線検出器の1画素についての模式的平面図である(H.Jeromek等、SPIE、Vol.2746、1996年、p60)。図11(a)～(e)に示す例も、ダイアフラム122が梁123によって基板121上に支持された構造を有するもので、赤外線の検出原理は図9に示した例と同様である。本従来例では様々な熱分離構造が示されている。図11

(a)に示すものと図11(b)に示すものとは、梁123の折曲げ回数が異なっており、図11(b)に示すものの方が熱分離性は良いが、ダイアフラム122のフィルファクター、すなわち画素に対するダイアフラム122の占有率は小さい。図11(c)に示すものも、梁123の曲げ方を変えて熱分離性の向上を狙ったものである。図11(d)に示すもの及び図11(e)に示すものは、それぞれ4本の梁123によってダイアフラム122を支えている。

【0009】次に、図12に、(株)豊田中央研究所が開発した16×16画素の焦電型赤外線検出器の画素構

造の模式的平面図及びA-A線断面図を示す(藤塚等、日本赤外線学会誌、第9巻第1号、1999年6月、p19)。

【0010】図12において、各画素は1辺が75μmの大きさで、n型シリコン基板200にバルクマイクロマシーニング技術により空洞205を形成し、この空洞205上でダイアフラム201を、幅が4μm、長さが59μmの4本の梁202で支えている。ダイアフラム201は、シリコン酸化膜203と、Ti/TiNからなる電極204とからなる。各梁202はそれぞれシリコン酸化膜203で形成され、そのうちの1本には、更に、電極204と電気的に接続される、Ti/TiNからなる配線204'が形成されている。ダイアフラム201の電極204上には、図示されていないが、焦電材料であるP(VDF) (Polyvinylidene Fluoride)からなる薄膜が成膜され、更にその上に、赤外吸収膜でありかつ上部電極である金黒膜が形成されている。

【0011】ダイアフラム201に入射した赤外線はダイアフラム201に吸収されて熱となり、これにより焦電材料の分極状態が変化し、ダイアフラム201には表面電荷が発生する。表面電荷量はn型シリコン基板200に形成された読出回路(不図示)により電気信号に変換され、赤外線の検出結果として画像化される。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように従来技術の場合、様々な熱分離構造が試みられているが、温度分解能が最小となるように熱分離構造が最適化されていないものであった。つまり、一般には梁の長さを長くして受光部と基板との熱分離性を良くすると温度分解能も小さくなるが、特に大きな画素の場合においては、熱分離性を良くしすぎると、温度分解能が大きくなってしまふ。これは、熱分離性を良くしすぎることによって熱時定数が大きくなり、ダイアフラムが被写体の温度変化に追従できなくなってしまうためである。

【0013】本発明の目的は、画素の大きさに応じて温度分解能を最小とするような最適な長さの梁を有する熱型赤外線検出器を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明の熱型赤外線検出器は、読み出し回路が設けられた基板と、この基板上に配列ピッチpが $15 \leq p \leq 50 \mu\text{m}$ で配列された画素とを有する。各画素はそれぞれ、ボロメータ薄膜を含み基板と間隔をあけて設けられた受光部と、この受光部を基板に対して支持する2本の梁と、上記読み出し回路とボロメータ薄膜とを接続するために各梁に設けられた配線とを有し、これら各梁の長さが、各梁の長さを画素の周長の1/4で割った値である梁長指数によって与えられる。梁長指数は、温度分解能を表す式(後述の式(1))に基づいて、画素のパターニングに用いられるステッパの種類及び配線の材料の熱

伝導率に応じて求められた、画素ピッチをパラメータとしする近似式で与えられる。また、梁長指数は、ステッパのパターニング精度を考慮して、上記の近似式の±15%の範囲で与えられている。

【0015】このように、梁の長さを、画素ピッチをパラメータとして求められた梁長指数によって規定することで、温度分解能を最小とする最適な梁の長さが画素ピッチに応じて与えられた熱型赤外線検出器が提供される。

【0016】配線の材料の熱伝導率 $k$ は、 $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $W/(cm \cdot K)$ )となる第1のグループと、 $0.10 \leq k \leq 0.15$  ( $W/(cm \cdot K)$ )となる第2のグループと、 $0.16 \leq k \leq 0.22$  ( $W/(cm \cdot K)$ )となる第3のグループとに分けられる。第1のグループとしては、Tiを主成分とし少なくともAlを含む合金が挙げられ、第2のグループとしては、Ni-Cr合金が挙げられ、第3のグループとしては、TiまたはTiを主成分としAlを含まない合金が挙げられる。

【0017】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0018】図1は、本発明の一実施形態である熱型赤外線検出器の、1つの画素を模式的に示す平面図である。

【0019】図1に示すように、本実施形態の熱型赤外線検出器は、Siからなる基板1と、この基板1に設けられた2つのコンタクト5と、これらコンタクト5から延びた梁3によって基板1と間隔をあけて支持されたダイアフラム2とを有する。これらコンタクト5、梁3及びダイアフラム2によって1つの画素が構成され、熱型赤外線検出器においては、複数の画素が、縦方向及び横方向にそれぞれピッチ $p$ でマトリックス状に配列されている。

【0020】ダイアフラム2は受光部として機能するもので、保護膜/サーミスターボロメータ材料薄膜/保護膜の積層構造を有する。梁3には、ダイアフラム2のサーミスターボロメータ材料薄膜をコンタクト5を介して

基板1の読み出し回路と電気的に接続するための、薄膜で構成された配線6が、梁3の形状に沿って設けられている。梁3もダイアフラム2と同様に、配線6の両面が保護膜で覆われた積層構造を有する。なお、図示していないが、ダイアフラム2には、サーミスターボロメータ材料薄膜と配線6との電気的接続のためのコンタクト部を有している。

【0021】各コンタクト5はそれぞれ画素の対角線上に配置されている。各梁3は、それぞれコンタクト5からダイアフラム2の外周と平行に延び、ダイアフラム2の互いに対向する辺の、ダイアフラム2の中心に対して点対称となる位置で直角に折り曲げられてダイアフラム2と接続されている。また、ダイアフラム2の形状は、コンタクト5及び梁3の形状、大きさ等によって決められ、ダイアフラム2と梁3とが平行になっている部分では、コンタクト5及び梁3とダイアフラム2との間に、製造過程において基板1とダイアフラム2との間に設けられる犠牲層のエッチングのためのスリット4が設けられている。

【0022】ダイアフラム2に赤外線が入射すると、入射した赤外線はダイアフラム2によって吸収されて熱となり、ダイアフラム2の温度を上昇させる。これによりサーミスターボロメータ材料薄膜の抵抗値が変化し、基板1内の読み出し回路により電気信号に変換され、赤外線の検出結果として画像化される。

【0023】上述した熱型赤外線検出器の高感度化のポイントは、抵抗温度係数(TCR)が大きいサーミスターボロメータ材料薄膜の開発とダイアフラム2が吸収した熱を逃がさないようにする熱分離構造の開発である。本発明は、これらのうち特に、熱分離構造に着目したものである。ダイアフラム2が吸収する熱の量は画素のフィラクター $F_f$ で決まり、熱分離は梁の熱コンダクタンスつまり梁の材料や長さで決まる。

【0024】赤外カメラの性能指標の1つである温度分解能(NETD)は、次式(1)で表される。

【0025】

【数1】

$$NETD = \frac{V_N}{p^2 F_f \Omega \int \frac{dB(\lambda, T)}{dT} T_r(\lambda) d\lambda \frac{\alpha \eta V_B \varphi}{G_{th}}} \quad [K] \quad \dots (1)$$

ただし、

【0026】

【数2】

$$\varphi = 1 - \exp\left(-\frac{\tau_f}{\tau_{th}}\right)$$

また、 $\alpha$ は抵抗温度係数(TCR)の実効値であり、材料自体の抵抗温度係数を $\alpha_0$ としたとき、

【0027】

【数3】

$$\alpha = \alpha_0 \frac{[\text{ボロメータ抵抗 } R_B]}{[\text{ボロメータ抵抗 } R_B] + [\text{梁の抵抗 } R_a]} \quad \dots (2)$$

で表される。

【0028】ここで、 $V_N$ ：ノイズ電圧、 $p$ ：画素ピッチ、 $F_F$ ：フィルファクター、 $\Omega$ ：光学系の立体角、 $B(\lambda, T)$ ：黒体放射の式、 $T$ ：被写体の温度、 $T_r(\lambda)$ ：光学系の透過率、 $\eta$ ：画素の赤外吸収率、 $V_B$ ：ボロメータに印加されるバイアス電圧、 $G_{th}$ ：熱コンダクタンス、 $\tau_{th}$ ：熱時定数、 $\tau_f$ ：TVフレームレートに対応する時定数(33 msec)、である。

【0029】ノイズ電圧 $V_N$ は、背景輻射ノイズ $V_{PN}$ 、

$$V_N = \sqrt{V_{PN}^2 + V_{TF}^2 + V_{JN}^2 + V_f^2 + V_a^2} \quad \dots (3)$$

$$V_{PN} = R_v \sqrt{\frac{A \sigma k (T_{OP}^5 + T_{BKG}^5)}{2 \eta \tau_{th}}} \quad [V] \quad \dots (4)$$

$$V_{TF} = \frac{R_v}{\eta} \sqrt{4 k T_{OP}^2 G_{th} \Delta f_{TF}} \quad [V] \quad \dots (5)$$

$$V_{JN} = \sqrt{4 k T_{OP} R_B \Delta f_{JN}} \quad [V] \quad \dots (6)$$

$$V_f = \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} \frac{K V_h^2}{f} df} = V_B \sqrt{K I_n \left( \frac{1}{2 \tau_{ro} f_1} \right)} \quad [V] \quad \dots (7)$$

【0031】式(3)において、本実施形態では、回路ノイズ $V_a$ は、ボロメータ抵抗のジョンソンノイズの1.67倍を想定し、その値は0とする。

【0032】また、式(4)～(7)において、 $R_v$ ：レスポンシビティ、 $A$ ：受光部の面積、 $\sigma$ ：Stefan-Boltzmann定数、 $k$ ：Boltzmann定数、 $T_{OP}$ ：動作温度、 $T_{BKG}$ ：背景輻射の温度、 $R_B$ ：ボロメータの抵抗、 $\Delta f_{TF}$ ：温度揺らぎノイズの帯域、 $\Delta f_{JN}$ ：ジョンソンノイズの帯域、 $\tau_{ro}$ ：読出時間、 $\beta$ ：定数、 $K$ ： $1/f$ ノイズ指標、である。

【0033】さらに、上記の $R_v$ 、 $A$ 、 $\Delta f_{TF}$ 、 $\Delta f_{JN}$ 、 $f_2$ 、 $\tau_{th}$ 、及び $K$ は、それぞれ以下の式(8)～(14)で表される。

$$R_v = \alpha \eta V_B \psi / G_{th} \quad [V/W] \quad \dots (8)$$

$$A = p^2 F_F \quad \dots (9)$$

$$\Delta f_{TF} = 1 / 4 \tau_{th} \quad \dots (10)$$

$$\Delta f_{JN} = 1 / 2 \tau_{ro} \quad \dots (11)$$

$$f_2 = f_1 + \Delta f_{JN} \sim \Delta f_{JN}' \quad \dots (12)$$

$$\tau_{th} = C_{th} / G_{th} \quad \dots (13)$$

温度揺らぎノイズ $V_{TF}$ 、ジョンソンノイズ $V_{JN}$ 、 $1/f$ ノイズ $V_f$ 、及び回路ノイズ $V_a$ で決まり、これらは以下の式(3)～(7)で表される。(B.R.Johnson & P.W.Kruse, SPIE, 2020 (1993) 2; K.C.Liddiard, U.Ringh, & C.Jansson, SPIE, 2552 (1995) 564; P.H.Handel, Phys.Rev.A, 22 (1980) 745)。

【0030】

【数4】

$$K = \beta (\mu / \mu_{latt})^2 / N \quad \dots (14)$$

【0034】式(14)において、 $N$ ：サーミスターボロメータ薄膜中のフリーキャリア (free carrier) の総数、 $\mu$ ：移動度、 $\mu_{latt}$ ：格子振動で決まる移動度、である。

【0035】ここで、ダイアフラム2が吸収する熱の量を決定するフィルファクター $F_F$ 、及び、ダイアフラム2の熱コンダクタンスを決定する梁3の長さは、図1に示すスリット幅 $g$ 、梁幅 $d$ 、及びコンタクト5の大きさ(図1においては1辺の長さが $e$ の正方形とした)をパラメータにして計算することができる。

【0036】なお、スリット幅 $g$ すなわちダイアフラム2と梁3との間隔は露光・現像工程のパターニング精度で決まり、梁幅 $d$ は梁3の配線6の幅と露光装置(ステッパ)の位置合わせ精度で決まる。

【0037】表1に、 $g$ 線ステッパ及び $i$ 線ステッパの典型的なパターニング精度及び位置合わせ精度を示す。

【表1】

	$g$ 線ステッパ	$i$ 線ステッパ
パターニング精度 ( $\mu m$ )	0.8	0.5
位置合わせ精度 ( $\mu m$ )	0.25	0.11

【0038】 $g$ 線ステッパを用いた場合、一般的には、

スリット幅 $g=0.8 \mu m$ 、梁幅 $d=2.6 \mu m$ となり、 $i$

線ステップを用いた場合は、スリット幅  $g=0.5\mu\text{m}$ 、  
梁幅  $d=2\mu\text{m}$  となる。

【0039】ダイアフラム2の面積は、図1に示すようにダイアフラム2を3つの長方形に分割すると、それぞれの縦横の長さ  $x_a, y_a, x_b, y_b$  を用いて計算することができる。ここで  $n$  は、梁3の長さ  $l_{th}$  を画素の周長の  $1/4$  で割った値である。本実施形態では、画素の周長は  $4p$  であるので、 $n = l_{th}/p$  で表される。熱型赤外線検出器の画素は一般的には正方形であるので、この  $n$  は、梁3の長さ  $l_{th}$  が画素の1辺の長さに対して何倍の長さであるかを示す。以下、この  $n$  を「梁長指数」という。

【0040】例えば、図1に示すように、梁3がダイアフラム2の1つの辺に沿って延び、その辺の端部において1回だけ折り曲げられてダイアフラム2と接続される場合には、 $x_a, y_a, x_b, y_b$ 、及び  $n$  はそれぞれ、図1からも明らかなように、 $p, d, e, g$  を用いて、  
 $x_a = e - d$   
 $y_a = p - e - 2g$   
 $x_b = p - 2e - 3g$   
 $y_b = p - g$   
 $n = (p - e) / p$   
と表される。

【0041】また、梁3の長さが図1に示したものよりも長くなる場合は、梁3は図1に示す折り曲げ位置から更に延長され、図2に示すように、2回折り曲げられて

$$G_{th,cond} = \frac{2}{l_{th}} (k_M d_M t_M + k_P d_P t_M) \quad [W/K] \quad \dots (18)$$

【0046】また、ダイアフラム2の熱容量  $C_{th}$  は、ダイアフラム2の構成要素であるサーミスタ-ボロメータ材料薄膜の面積、厚さ  $t_B$ 、定積比熱  $C_{V,B}$ 、及び保護膜の面積、厚さ  $t_P$ 、定積比熱  $C_{V,P}$  から以下の式(19)

$$C_{th} = p^2 F_F (C_{V,B} t_B + C_{V,P} t_P)$$

【0047】熱分離構造の熱時定数  $\tau_{th}$  は、 $\tau_{th} = C_{th} / G_{th,total}$  で表され、この値が大きいと、実時間赤外線画像において残像が問題になる。

【0048】なお、式(2)において、梁3の抵抗を  $R$  とすると、 $R$  は、梁3の配線材料の比抵抗を  $\rho$ 、配線の幅を  $w$ 、配線の厚さを  $t$ 、としたとき、1本の梁3の長さは  $l_{th}$  なので、次式(20)のように表される。

【0049】

【数6】

$$R = \rho \frac{2l_{th}}{wt} \quad \dots (20)$$

ダイアフラム2と接続される。梁3の長さが図2に示したものよりも長い場合は、図3に示すように、梁3はダイアフラム2ともう一方の梁3との間に入り込んで、ダイアフラム2と接続される。

【0042】ダイアフラム2の面積を上記の  $x_a, y_a, x_b, y_b$  を用いて表すと、  
 $2x_a y_a + x_b y_b$   
となるので、フィルファクター  $F_F$  は、  
 $F_F = (2x_a y_a + x_b y_b) / p^2 \quad \dots (15)$   
で表される。

【0043】一方、熱コンダクタンスのうち熱輻射で決まるものを  $G_{th,rad}$  とすると、ダイアフラム2の熱輻射に関しては裏表の2面があるため、

$$G_{th,rad} = 8\sigma T^3 p^2 F_F \quad \dots (16)$$

と表される。ここで、 $T$  は動作温度である。

【0044】従って、熱コンダクタンスの合計  $G_{th,total}$  は次の式(17)で表わされる。

$$G_{th,total} = G_{th,cond} + G_{th,rad} \quad \dots (17)$$

梁3の熱伝導で決まる  $G_{th,cond}$  は、梁3の長さ  $l_{th}$ 、梁3の本数(2本)、配線6の幅と厚さ(各々  $d_M$  と  $t_M$ )、梁3の保護膜の幅と厚さ(各々  $d_P$  と  $t_P$ )、及び梁3の配線材料と保護膜材料の熱伝導率( $k_M$  と  $k_P$ )から、以下の式で計算される。

【0045】

【数5】

で計算される。ここで、簡単のためボロメータ材料薄膜の面積及び保護膜の面積は、 $p^2 F_F$  とする( $p$  は画素ピッチ、 $F_F$  はフィルファクター)。

【J/K】  $\dots (19)$

【0050】ここで、配線材料の比抵抗  $\rho$  ( $\Omega\text{cm}$ ) と熱伝導率  $k$  ( $\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$ ) の関係式として、 $k = 6.735\rho^{-0.8957}$  を用いた。

【0051】以下に、具体的な計算結果を示す。

【0052】画素ピッチが  $25\mu\text{m}$  のサーミスタ-ボロメータ型赤外線検出器について、表2に示すパラメータを前述の各式に適用し、温度分解能(NETD)と梁長指数  $n$  との関係を計算した。

【0053】

【表2】

酸化バナジウム自体の抵抗温度係数の絶対値: TCR (%/K)	2
ボロメータ抵抗: $R_B$ ( $\Omega$ )	20,000
赤外吸収率: $\eta$ (%)	80
1/fノイズK値	$7.0 \times 10^{-10}$
バイアス電圧: $V_B$ (V)	3
光学系F値	1
立体角: $\Omega$ (sr)	0.63
$\int T_e(\lambda) (dB/dT_e) d\lambda$ : ( $W/cm^2 \cdot sr \cdot K$ )	$8.8 \times 10^{-5}$
読出時間: $\tau_m$ (sec)	$3 \times 10^{-5}$
フレームレート (Hz)	30
帯域 (低周波カットオン): $f_1$ (Hz)	15
動作温度: $T_{op}$ (K)	300
背景温度: $T_{BGD}$ (K)	300
電極の大きさ: $e$ ( $\mu m$ )	7.5
梁幅: $d$ ( $\mu m$ ) g線ステップ or i線ステップ	2.6 or 2.0
スリット幅: $g$ ( $\mu m$ ) 同上	0.8 or 0.5
梁上の電極幅 ( $\mu m$ ): $w$	1
梁上の電極厚さ ( $\text{\AA}$ ): $t$	1000
梁の保護膜厚さ ( $\text{\AA}$ )	5000
VO <sub>2</sub> 厚さ ( $\text{\AA}$ )	1000
回路ノイズ: $V_n$ (V) (ボロメータ抵抗のジョンソンノイズの1.67倍を想定)	0

【0054】なお、表2中の電極の大きさ $e$ は画素サイズで決定され、表3に、種々の画素ピッチでの代表的な電極の大きさの関係を示す。

【0055】  
【表3】

画素ピッチ $p$ ( $\mu m$ )	電極の大きさ $e$ ( $\mu m$ )
15	5.5
20~ 25	6.5
30~ 40	7.5
50~ 70	10
80~100	15

【0056】温度分解能の計算に際し、ダイアフラム2及び梁3の保護膜はプラズマCVDで形成したシリコン窒化膜とし、ダイアフラム2のボロメータ材料は酸化バナジウム薄膜とした。また、梁3の配線材料はTiとし

た。表4に、ダイアフラム及び梁3に用いられる代表的な材料の物性を示す。

【0057】  
【表4】

	材料	熱伝導率 ( $W/(cm \cdot K)$ )	比抵抗 ( $\mu \Omega cm$ )	定積比熱 ( $J/(cm^3 \cdot K)$ )
保護膜	SiN	0.008		2.0
梁の配線材料	TiAl6V4	0.065	174	2.38
	VT-3	0.072		
	6Al-4V	0.0751		
	4Al-3Mo-1V	0.0833		
	Ti-V-X	0.087		
	Ni-Cr 合金	0.10~0.15		
	Ti150A	0.165		
	Ti-Zr-X	0.19		
	Ti	0.22	47	2.38
ボロメータ材料	VO <sub>2</sub>	0.05		3

【0058】また、温度分解能及びフィルファクター $F_F$ の計算に際し、梁幅 $d$ 及びスリット幅 $g$ は、i線ステップを用いたものとして計算した。

【0059】図4に、温度分解能と梁長指数 $n$ との関係

を示す。また、それと同時に、フィルファクター $F_F$ と梁長指数 $n$ との関係も併記した。

【0060】図4から分るように、フィルファクター $F_F$ は、梁長指数 $n$ が大きくなるに従って単調に減少す



る。一方、温度分解能の値は小さい方がよいが、温度分解能NETDを最小にする梁長指数 $n$ には最適値がある。

【0061】次に、前述の各式に表2及び表3に示すパラメータを適用して、温度分解能が最小となる梁長指数 $n$ と画素ピッチ $p$ との関係を、画素ピッチ $p=15\sim50\mu\text{m}$ に対して計算した。

【0062】この計算に際して、梁幅 $d$ 及びスリット幅 $g$ は、 $g$ 線ステップを用いた場合と $i$ 線ステップを用いた場合とで、温度分解能が最小となる梁長指数 $n$ の傾向が異なることが分かった。また、梁の配線材料の熱伝導率 $k$ は、表4からも明らかなように、 $k=0.065\sim0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )となる第1のグループ ( $\text{Ti}$ を主成分とし少なくとも $\text{Al}$ を含む合金)と、 $k=0.10\sim0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )となる第2のグループ ( $\text{Ni-Cr}$ 合金)と、 $k=0.16\sim0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )となる第3のグループ ( $\text{Ti}$ または $\text{Ti}$ を主成分とし $\text{Al}$ を含まない合金)とに分けられ、これらのグループによっても、温度分解能が最小となる梁長指数 $n$ の傾向が異なることが分かった。

【0063】そこで、 $g$ 線ステップを用いた場合と、 $i$ 線ステップを用いた場合とについて、それぞれ上記の3つのグループに分けて、温度分解能が最小となる梁長指

(1)  $k=0.065\sim0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ) の場合

$$n=-1.8\times10^{-4}p^3+1.4\times10^{-2}p^2-0.27p+2.5 \quad \cdots (21)$$

(2)  $k=0.10\sim0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ) の場合

$$n=-1.5\times10^{-4}p^3+1.3\times10^{-2}p^2-0.24p+2.3 \quad \cdots (22)$$

(3)  $k=0.16\sim0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ) の場合

$$n=-1.1\times10^{-4}p^3+9.6\times10^{-3}p^2-0.17p+1.8 \quad \cdots (23)$$

なる式で表すことができる。

【0066】また、図6では、(b)のグラフと(c)

(1)  $k=0.065\sim0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ) の場合

$$n=-2.5\times10^{-5}p^3+1.9\times10^{-3}p^2-3.2p+0.14 \quad \cdots (24)$$

(2)  $k=0.10\sim0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ ) の場合

$$n=0.070p-0.35 \quad \cdots (25)$$

なる式で表すことができる。

【0067】一方、熱時定数 $\tau_{th}\leq15\text{msec}$ という制限を加えた場合は、図7及び図8から明らかなように、画素ピッチ $p$ が $35\mu\text{m}$ または $40\mu\text{m}$ を境に、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ の傾向が大きく変わる。

【0068】 $i$ 線ステップを用いてパターンニングした場合は、図7に示すように、画素ピッチ $p$ が $15\leq p\leq35\mu\text{m}$ の範囲では、梁の配線材料の熱伝導率 $k$ によらず、ほぼ線形に増加する。具体的には、熱伝導率 $k=0.065\sim0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )の場合は、図7(a)に示すように、

$$n=0.083p-0.21 \quad \cdots (26)$$

で与えられ、熱伝導率 $k=0.10\sim0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )の場合は、図7(a)、(b)に示すよ

うに、画素ピッチ $p$ との関係を、 $15\leq p\leq50\mu\text{m}$ の範囲で $5\mu\text{m}$ ごとに計算した。また、赤外面像をテレビジョン画像として撮像する場合には残像が気にならないように考慮し熱時定数 $\tau_{th}$ をテレビ信号のフレームレート以下の時間すなわち $\tau_{th}\leq15\text{msec}$ という制限を加えた場合と、残像を考慮せず $\tau_{th}$ に制限を加えない場合とについても、同様に計算した。

【0064】以上の計算結果を曲線または直線に近似したグラフを図5～8に示す。図5は、 $i$ 線ステップを用い熱時定数 $\tau_{th}$ に制限を加えなかった場合、図6は、 $g$ 線ステップを用い熱時定数 $\tau_{th}$ に制限を加えなかった場合、図7は、 $i$ 線ステップを用い熱時定数 $\tau_{th}\leq15\text{msec}$ の制限を加えた場合、図8は、 $g$ 線ステップを用い熱時定数 $\tau_{th}\leq15\text{msec}$ の制限を加えた場合をそれぞれ示す。また、図5～図8の添え字(a)～(c)はそれぞれ、(a)が、梁の配線材料が第1のグループの場合、(b)が、梁の配線材料が第2のグループの場合、(c)が、梁の配線材料が第3のグループの場合である。

【0065】熱時定数 $\tau_{th}$ に制限を加えない場合には、図5から、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ と画素ピッチ $p$ との関係を表す近似式が、以下の、

のグラフとは、ほぼ一致した値で線形に増加しているの  
で、これらは同一の近似式で表すことができ、

$$n=0.096p-0.47 \quad \cdots (27)$$

で与えられる。

【0069】画素ピッチ $p$ が $35<p\leq50\mu\text{m}$ の範囲では、熱伝導率 $k=0.065\sim0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )の場合は、図7(a)に示すように、

$$n=11/(p-30) \quad \cdots (28)$$

で与えられ、熱伝導率 $k=0.10\sim0.15$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )の場合は、図7(b)に示すように、

$$n=16/(p-30) \quad \cdots (29)$$

で与えられる。また、熱伝導率 $k=0.16\sim0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ )の場合は、図7(c)に示すように、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ はほぼ線形に減少し、

$$n=-0.14p+7.9 \quad \cdots (30)$$

で与えられる。

【0070】 $g$ 線ステッパを用いてパターンニングした場合は、図8(a)に示すように、熱伝導率 $k=0.065\sim0.09$  ( $W/(cm\cdot K)$ )では、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、画素ピッチ $p$ が $15\leq p\leq 35$ の範囲でほぼ線形に増加し、 $35<p\leq 50$ の範囲でほぼ線形に減少する。具体的には、 $15\leq p\leq 35$ の範囲では、

$$n=0.070p-0.35 \quad \cdots (31)$$

で与えられ、 $35<p\leq 50$ の範囲では、

$$n=-0.10p+5.5 \quad \cdots (32)$$

で与えられる。

【0071】また、熱伝導率 $k=0.10\sim0.15$  ( $W/(cm\cdot K)$ )では、図8(b)に示されるように、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、画素ピッチ $p$ が $15\leq p\leq 40$ の範囲でほぼ線形に増加し、 $40<p\leq 50$ の範囲でほぼ線形に減少する。具体的には、 $15\leq p\leq 40$ の範囲では、

$$n=0.066p-0.28 \quad \cdots (33)$$

で与えられ、 $40<p\leq 50$ の範囲では、

$$n=-0.15p+6.1 \quad \cdots (34)$$

で与えられる。

【0072】さらに、熱伝導率 $k=0.16\sim0.22$  ( $W/(cm\cdot K)$ )でも、図8(c)に示されるように、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、画素ピッチ $p$ が $15\leq p\leq 40$ の範囲でほぼ線形に増加し、 $40<p\leq 50$ の範囲でほぼ線形に減少する。具体的には、 $15\leq p\leq 40$ の範囲では、

$$n=0.073p-0.42 \quad \cdots (35)$$

で与えられ、 $40<p\leq 50$ の範囲では、

$$n=-0.14p+8.0 \quad \cdots (36)$$

で与えられる。

【0073】従って、梁の配線材料や、パターンニングの際に用いる露光装置の光源の種類に応じて、上記の式

(21)～(36)を用いて梁の長さを設定することにより、その画素ピッチに最適な、温度分解能を最小とする熱分離構造を有する熱型赤外線検出器とすることができ

【0074】なお、図5～図8から分かるように、 $15\leq p\leq 50$ の範囲では、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、最大でも3程度である。従って、梁の引き回しについては、殆どの場合、図1～3のいずれかに示した形態に含まれる。

【0075】ところで、上述の計算においては、ステッパのパターンニング精度、すなわち熱型赤外線検出器のダイアフラム2と梁3との間のスリット幅 $g$ を、 $i$ 線ステッパでパターンニングした場合には $g=0.5$ 、 $g$ 線ステッパでパターンニングした場合には $g=0.8$ に固定して計算を行った。しかし、実際には、いずれのステッパを用いた場合であっても、パターンニング精度のばらつき等によりスリット幅 $g$ も多少変動する。

【0076】そこで、ステッパのパターンニング精度に起因するスリット幅 $g$ の変動を考慮し、種々の画素ピッチ $p$ における、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ を、表2に示したパラメータを用い、スリット幅 $g=0.3$ 、 $0.5$ 、 $0.7$ 、 $0.8$ 、 $1.0$  ( $\mu m$ )のそれぞれの場合について計算を行った。なお、梁3の配線材料の熱伝導率 $k$ としては、表4に挙げた例のうち、最小の値( $k=0.065$  ( $W/(cm\cdot K)$ ))と最大の値( $k=0.22$  ( $W/(cm\cdot K)$ ))を用いた。また、上記のスリット幅 $g$ は、 $0.3\mu m$ 及び $0.5\mu m$ が、 $i$ 線ステッパによるパターンニングを想定したものであり、 $0.7\sim1.0\mu m$ が、 $g$ 線ステッパによるパターンニングを想定したものである。

【0077】表5に、上記の計算結果を示す。

【0078】

【表5】

熱伝導率 $k$ (W/cm·K)	画素ピ ッチ $p$ ( $\mu\text{m}$ )	スリット幅 $g$ ( $\mu\text{m}$ )	梁長指数 $n$		変動率 (%)		
			$\tau_{th}$ 制限 なし	$\tau_{th} \leq 15$ (msec)	$\tau_{th}$ 制限 なし	$\tau_{th} \leq 15$ (msec)	
0.065	20	0.5	1.2		+2		
		0.3	1.22				
	30	0.5	2.4		+11		
		0.3	2.67				
	45	0.5	2.67	0.67	0	0	
		0.3	2.67	0.67			
	30	1.0	1.6		+10		
		0.8	1.77				
		0.7	1.77				
	45	1.0	2.44	0.87	+4	0	
		0.8	2.53	0.87			
		0.8	2.53	0.87			
0.22	30	0.5	2.43		+10		
		0.3	2.67				
	45	0.5	3.71	1.56	+14	-7.4	
		0.3	4.22	1.44			
	30	1.0	1.6		+10		
		0.8	1.77				
		0.7	1.77				
	45	1.0	2.8	2.33	+3	-14	
		0.8	2.82	2.11			
		0.7	2.89	2.0			

【0079】表5において、変動率は、配線材料の熱伝導率 $k$ 及び画素ピッチ $p$ が同じ条件のときの、 $g=0.3\mu\text{m}$ における梁長指数 $n$ に対する $g=0.5\mu\text{m}$ における梁長指数 $n$ の変動率（ $i$ 線ステップを想定）、及び、 $g=1.0\mu\text{m}$ における梁長指数 $n$ に対する $g=0.7\mu\text{m}$ における梁長指数 $n$ の変動率（ $g$ 線ステップを想定）を示している。

【0080】表5から分かるように、 $i$ 線ステップを用いた場合、 $g$ 線ステップを用いた場合のいずれにおいても、スリット幅 $g$ のばらつきに応じて、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ の値は、 $-15\% \sim +15\%$ の範囲で変動する。従って、スリット幅 $g$ のばらつきを考慮すると、上記の式（21）～（36）において $0.85n \sim 1.15n$ の範囲で梁の長さを設定すればよい。これにより、温度分解能の値を小さい値としつつも、図1～図3に示した熱型赤外線検出器の画素における梁3やコンタクト5のレイアウトに応じた梁3の長さの設定の自由度が向上する。

【0081】上述した温度分解能の計算において、熱分離構造の熱コンダクタンス及びフィルファクターについては、サーミスターボロメータ型赤外線検出器に限らず、熱分離構造を有するサーモパイル型や焦電型の赤外線検出器に対しても適用することができる。

【0082】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、画素ピッチをパラメータとして求められた梁長指数によって、受光部を支持する各梁の長さを規定することによって、画素ピッチに応じて梁の長さを最適化することができ、結果的に温度分解能を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態である熱型赤外線検出器の1つの画素を模式的に示す平面図である。

【図2】本発明の他の実施形態である熱型赤外線検出器の1つの画素を模式的に示す平面図である。

【図3】本発明の更に他の実施形態である熱型赤外線検出器の1つの画素を模式的に示す平面図である。

【図4】2本の梁で支持されたダイアフラムを有する熱型赤外線検出器の、画素ピッチが $25\mu\text{m}$ の場合の温度分解能と梁長指数、及び温度分解能とフィルファクターとの関係を示すグラフである。

【図5】 $i$ 線ステップを用いて熱型赤外線検出器の熱分離構造をパターンニングした場合を想定し、熱時定数 $\tau_{th}$ に制限を加えなかった場合の、最小の温度分解能を与える梁長指数と画素ピッチとの関係を示すグラフであり、（a）は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.065 \sim 0.09$ （W/（cm·K））の場合、（b）は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.10 \sim 0.15$ （W/（cm·K））の場合、（c）は梁の配線材料が $k=0.16 \sim 0.22$ （W/（cm·K））の場合をそれぞれ示す。

【図6】 $g$ 線ステップを用いて熱型赤外線検出器の熱分離構造をパターンニングした場合を想定し、熱時定数 $\tau_{th}$ に制限を加えなかった場合の、最小の温度分解能を与える梁長指数と画素ピッチとの関係を示すグラフであり、（a）は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.065 \sim 0.09$ （W/（cm·K））の場合、（b）は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.10 \sim 0.15$ （W/（cm·K））の場合、（c）は梁の配線材料が $k=0.16 \sim 0.22$ （W/（cm·K））の場合をそれぞれ示す。

【図7】 $i$ 線ステップを用いて熱型赤外線検出器の熱分離構造をパターンニングした場合を想定し、熱時定数 $\tau_{th} \leq 15$  msecの制限を加えた場合の、最小の温度分解能を与える梁長指数と画素ピッチとの関係を示すグラフ

であり、(a)は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.065\sim0.09$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合、(b)は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.10\sim0.15$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合、(c)は梁の配線材料が $k=0.16\sim0.22$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合をそれぞれ示す。

【図8】g線ステッパを用いて熱型赤外線検出器の熱分離構造をパターンニングした場合を想定し、熱時定数 $\tau_{th}\leq 15msec$ の制限を加えた場合の、最小の温度分解能を与える梁長指数と画素ピッチとの関係を示すグラフであり、(a)は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.065\sim0.09$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合、(b)は梁の配線材料の熱伝導率が $k=0.10\sim0.15$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合、(c)は梁の配線材料が $k=0.16\sim0.22$  ( $W/(cm\cdot K)$ )の場合をそれぞれ示す。

【図9】従来のサーミスタボロメータ型赤外線検出器の

1例の1画素についての模式的平面図である。

【図10】従来のサーミスタボロメータ型赤外線検出器の他の例の1画素についての模式的平面図である。

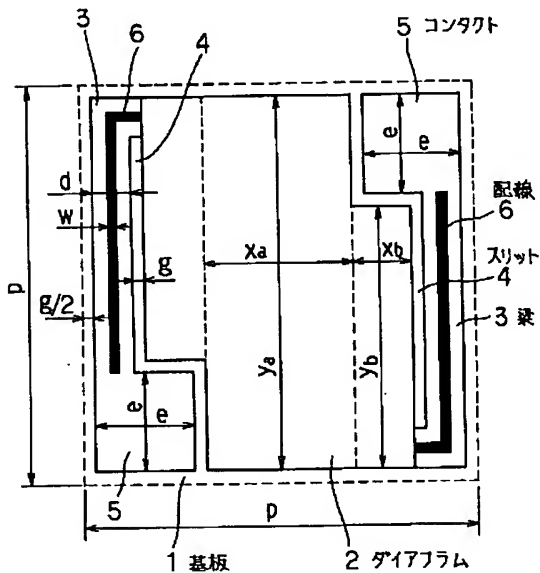
【図11】従来のサーミスタボロメータ型赤外線検出器の更に他の種々の例の1画素についての模式的平面図である。

【図12】従来の焦電型赤外線検出器の熱分離構造の一例を示し、同図(a)はそのも平面図、同図(b)はそのA-A線断面図である。

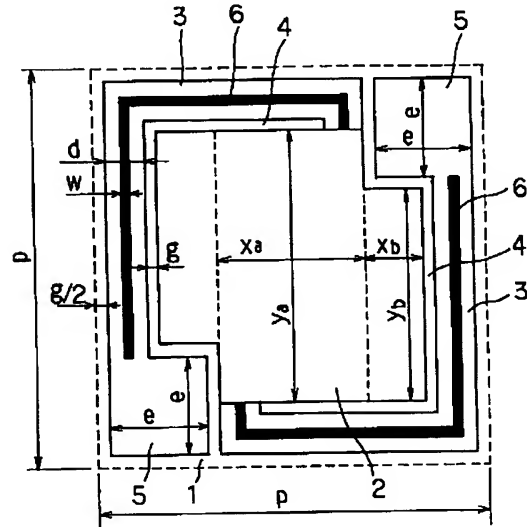
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 ダイアフラム
- 3 梁
- 4 スリット
- 5 コンタクト
- 6 配線

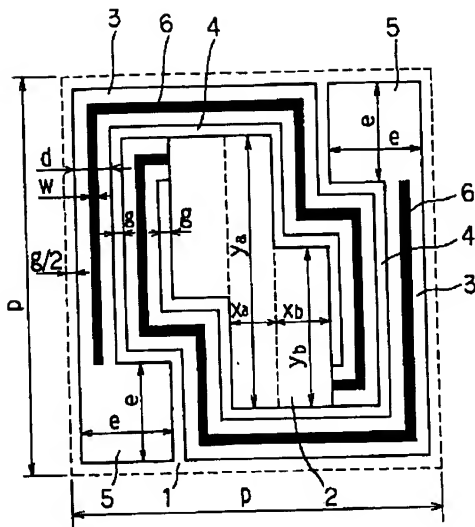
【図1】



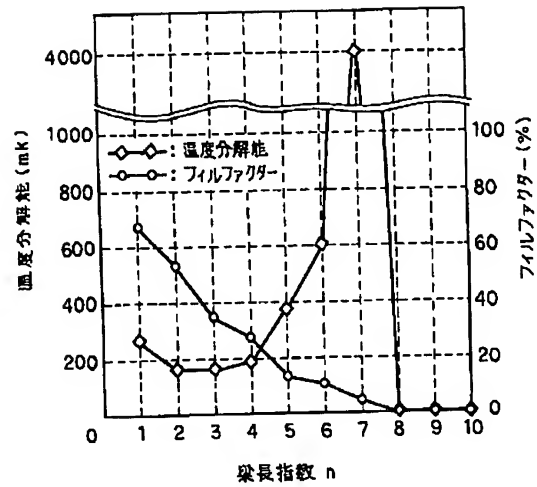
【図2】



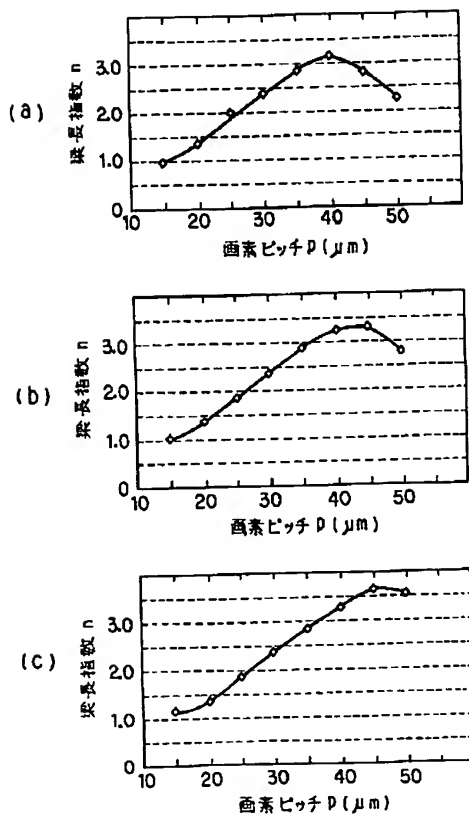
【図3】



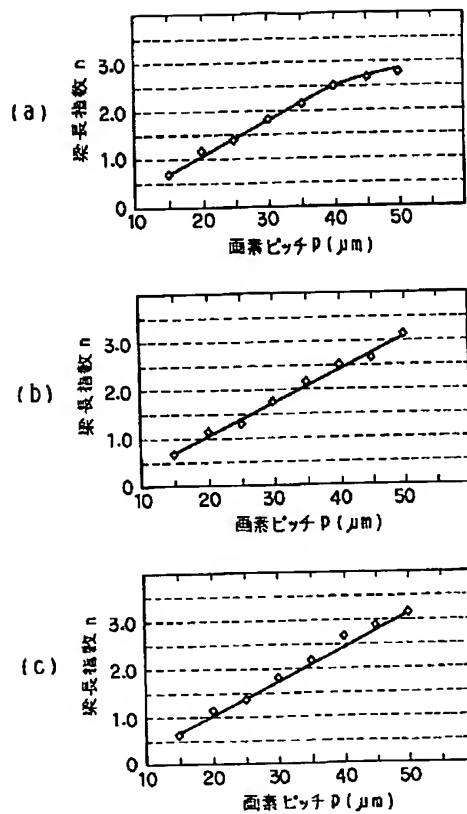
【図4】



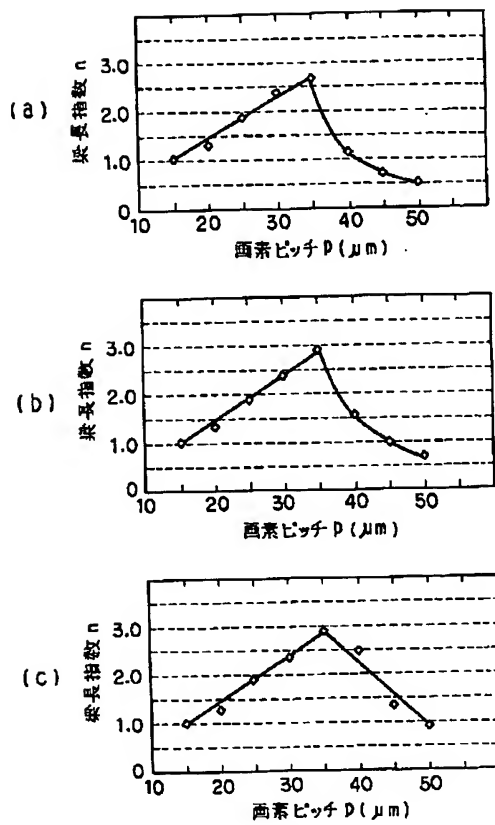
【図5】



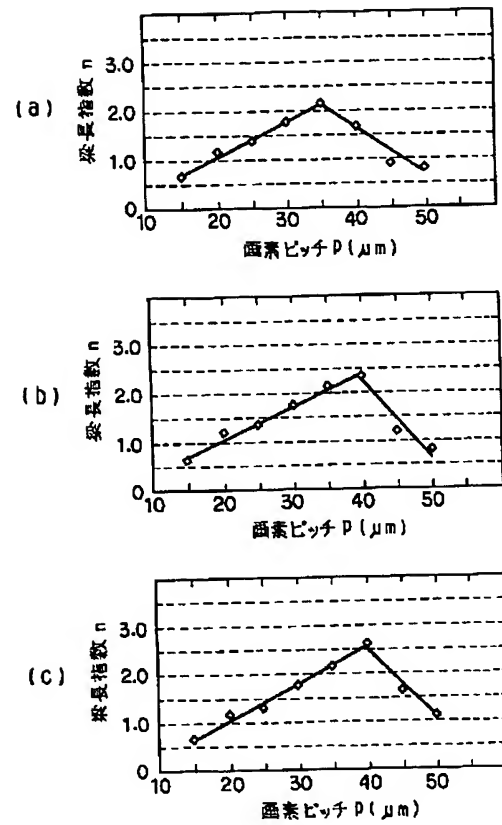
【図6】



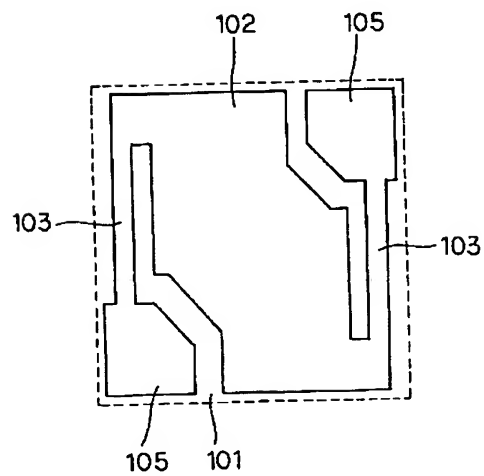
【図7】



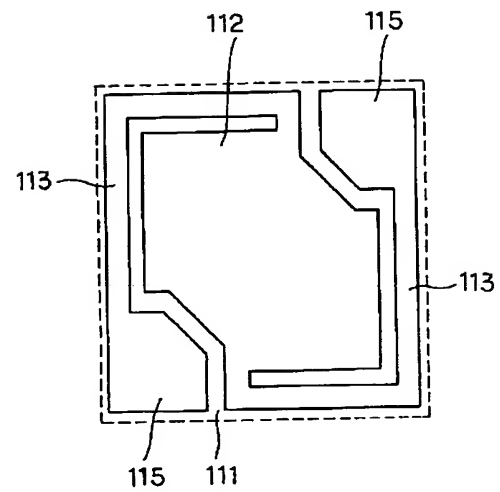
【図8】



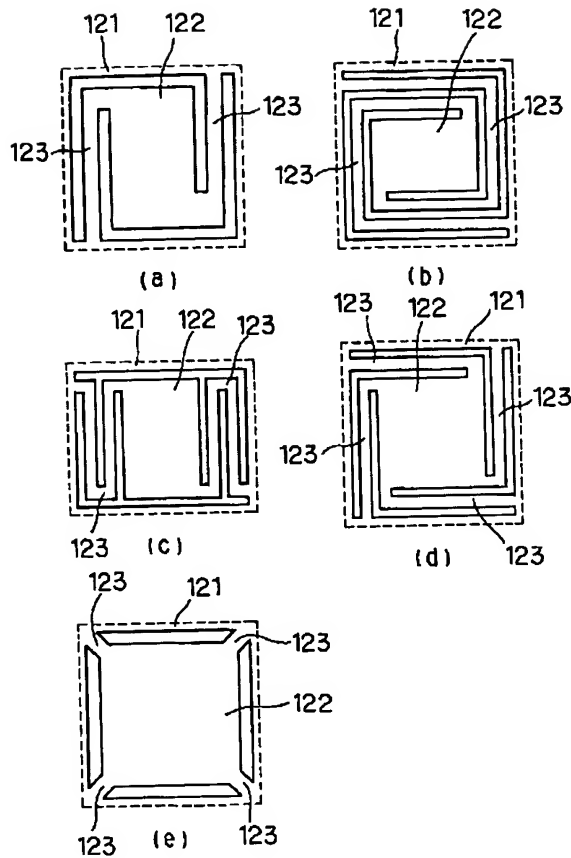
【図9】



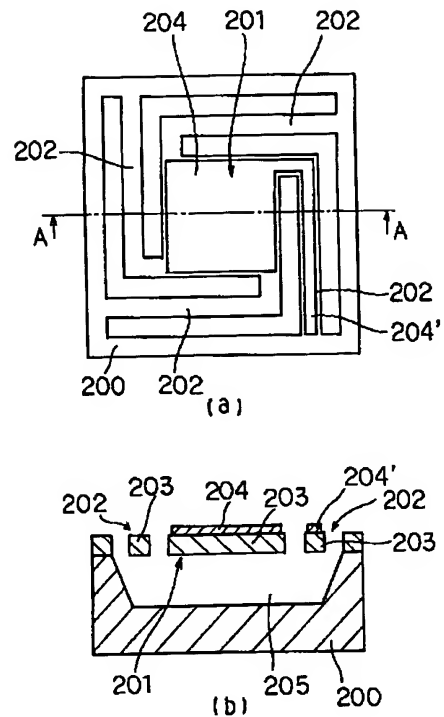
【図10】



【図11】



【図12】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年11月30日(2000.11.30)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項2】読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、

前記各画素はそれぞれ、 $g$ 線ステッパによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、

前記各梁の長さを前記画素の周長の $1/4$ で割った梁長指数 $n$ が、前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.065 \leq k \leq 0.09$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = -2.81 \times 10^{-5} p^3 + 1.95 \times 10^{-3} p^2 + 2.97 \times 10^{-2} p - 0.11$ とし、前

記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.10 \leq k \leq 0.22$  ( $\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$ )の場合は $N = 0.070 p - 0.35$ として、

$0.85 N \leq n \leq 1.15 N$

で与えられている、熱型赤外線検出器。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項12

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項12】読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu\text{m}$ )で配列された複数の画素とを有し、

前記各画素はそれぞれ、 $g$ 線ステッパによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する2本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、

前記配線の材料の熱伝導率 $k$ が $0.10 \leq k \leq 0.15$

( $W/(cm \cdot K)$ ) で、かつ熱時定数  $\tau_{th} \leq 15$  (msec) であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の  $1/4$  で割った梁長指数  $n$  が、前記配列ピッチ  $p$  が  $15 \leq p \leq 40$  ( $\mu m$ ) の場合は  $N = 0.066p - 0.28$  とし、前記配列ピッチ  $p$  が  $40 < p \leq 50$  ( $\mu m$ ) の場合は  $N = -0.15p + 8.1$  として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$  で与えられている、熱型赤外線検出器。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項 14

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項 14】読み出し回路が設けられた基板と、前記基板上に配列ピッチ  $p$  が  $15 \leq p \leq 50$  ( $\mu m$ ) で配列された複数の画素とを有し、前記各画素はそれぞれ、 $g$  線ステッパによってパターンニングされて形成された、ボロメータ薄膜を含み前記基板と間隔をあけて設けられた受光部と、該受光部を前記基板に対して支持する 2 本の梁と、前記読み出し回路と前記ボロメータ薄膜とを接続するために前記各梁に設けられた配線とを有し、前記配線の材料の熱伝導率  $k$  が  $0.16 \leq k \leq 0.22$  ( $W/(cm \cdot K)$ ) で、かつ熱時定数  $\tau_{th} \leq 15$  (msec) であるとき、前記各梁の長さを前記画素の周長の  $1/4$  で割った梁長指数  $n$  が、前記配列ピッチ  $p$  が  $15 \leq p \leq 40$  ( $\mu m$ ) の場合は  $N = 0.073p - 0.42$  とし、前記配列ピッチ  $p$  が  $40 < p \leq 50$  ( $\mu m$ ) の場合は  $N = -0.14p + 8.0$  として、 $0.85N \leq n \leq 1.15N$  で与えられている、熱型赤外線検出器。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明の熱型赤外線検出器は、読み出し回路が設けられた基板と、この基板上に配列ピッチ  $p$  が  $15 \leq p \leq 50$   $\mu m$  で配列された画素とを有する。各画素はそれぞれ、ボロメータ薄膜を含み基板と間隔をあけて設けられた受光部と、この受光部を基板に対して支持する 2 本の梁

と、上記読み出し回路とボロメータ薄膜とを接続するために各梁に設けられた配線とを有し、これら各梁の長さが、各梁の長さを画素の周長の  $1/4$  で割った値である梁長指数によって与えられる。梁長指数は、温度分解能を表す式（後述の式（1））に基づいて、画素のパターニングに用いられるステッパの種類及び配線の材料の熱伝導率に応じて求められた、画素ピッチをパラメータとする近似式で与えられる。また、梁長指数は、ステッパのパターニング精度を考慮して、上記の近似式の  $\pm 15\%$  の範囲で与えられている。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正内容】

【0031】式（3）において、本実施形態では、回路ノイズ  $V_a$  は、ボロメータ抵抗のジョンソンノイズの 1.67 倍を想定する。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】例えば、図 1 に示すように、梁 3 がダイアフラム 2 の 1 つの辺に沿って延び、その辺の端部において 1 回だけ折り曲げられてダイアフラム 2 と接続される場合には、 $x_a$ 、 $y_a$ 、 $x_b$ 、 $y_b$ 、及び  $n$  はそれぞれ、図 1 から明らかなように、 $p$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $g$  を用いて、 $x_a = p - 2e - 3g$   
 $y_a = p - g$   
 $x_b = e - d$   
 $y_b = p - e - 2g$   
 $n = (p - e) / p$ と表される。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0053

【補正方法】変更

【補正内容】

【0053】

【表 2】



酸化バナジウム自体の抵抗温度係数の絶対値: TCR (%/K)	2
ボロメータ抵抗: $R_B$ ( $\Omega$ )	20,000
赤外吸収率: $\eta$ (%)	80
1/fノイズK値	$7.0 \times 10^{-15}$
バイアス電圧: $V_B$ (V)	3
光学系F値	1
立体角: $\Omega$ (sr)	0.63
$\int T_\lambda(\lambda) (dB/dT_0) d\lambda$ : ( $W/cm^2 \cdot sr \cdot K$ )	$8.8 \times 10^{-6}$
読出時間: $\tau_{\text{ex}}$ (sec)	$3 \times 10^{-5}$
フレームレート (Hz)	30
帯域 (低周波カットオン): $f_1$ (Hz)	15
動作温度: $T_{\text{op}}$ (K)	300
背景温度: $T_{\text{BRG}}$ (K)	300
電極の大きさ: $e$ ( $\mu\text{m}$ )	7.5
梁幅: $d$ ( $\mu\text{m}$ ) g線ステッパ or i線ステッパ	2.6 or 2.0
スリット幅: $g$ ( $\mu\text{m}$ ) 同上	0.8 or 0.5
梁上の電極幅 ( $\mu\text{m}$ ): $w$	1
梁上の電極厚さ ( $\text{\AA}$ ): $t$	1000
梁の保護膜厚さ ( $\text{\AA}$ )	5000
$\text{VO}_x$ 厚さ ( $\text{\AA}$ )	1000
回路ノイズ: $V_n$ ( $\mu\text{V}$ ) (ボロメータ抵抗のジョンソンノイズの1.67倍を想定)	3.9

## 【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0066】また、図6では、(b)のグラフと(c)のグラフとは、ほぼ一致した値で線形に増加しているで、これらは同一の近似式で表すことができ、

(1)  $k=0.065 \sim 0.09$  ( $W/(cm \cdot K)$ ) の場合

$$n = -2.81 \times 10^{-5} p^3 + 1.95 \times 10^{-3} p^2 + 2.97 \times 10^{-2} p - 0.11 \quad \cdots (24)$$

(2)  $k=0.10 \sim 0.22$  ( $W/(cm \cdot K)$ ) の場合

$$n = 0.070 p - 0.35 \quad \cdots (25)$$

なる式で表すことができる。

## 【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正内容】

【0070】g線ステッパを用いてパターンニングした場合は、図8(a)に示すように、熱伝導率 $k=0.065 \sim 0.09$  ( $W/(cm \cdot K)$ ) では、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、画素ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 35$ の範囲でほぼ線形に増加し、 $35 < p \leq 50$ の範囲でほぼ線形に減少する。具体的には、 $15 \leq p \leq 35$ の範囲では、

$$n = 0.070 p - 0.35 \quad \cdots (31)$$

で与えられ、 $35 < p \leq 50$ の範囲では、

$$n = -0.099 p + 5.5 \quad \cdots (32)$$

で与えられる。

## 【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正内容】

【0071】また、熱伝導率 $k=0.10 \sim 0.15$  ( $W/(cm \cdot K)$ ) では、図8(b)に示されるように、温度分解能を最小とする梁長指数 $n$ は、画素ピッチ $p$ が $15 \leq p \leq 40$ の範囲でほぼ線形に増加し、 $40 < p \leq 50$ の範囲でほぼ線形に減少する。具体的には、 $15 \leq p \leq 40$ の範囲では、

$$n = 0.066 p - 0.28 \quad \cdots (33)$$

で与えられ、 $40 < p \leq 50$ の範囲では、

$$n = -0.15 p + 8.1 \quad \cdots (34)$$

で与えられる。

## 【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0078

【補正方法】変更

【補正内容】

【0078】

【表5】

熱伝導率k (W/cm・K)	画素ピ ッチp (μm)	スリット幅 g (μm)	梁長指数 n		変動率 (%)		
			τ <sub>th</sub> 制限 なし	τ <sub>th</sub> ≤15 (msec)	τ <sub>th</sub> 制限 なし	τ <sub>th</sub> ≤15 (msec)	
0.065	20	0.5	1.2		+2		
		0.3	1.22				
	30	0.5	2.4		+11		
		0.3	2.67				
	45	0.5	2.67	0.67	0	0	
		0.3	2.67	0.67			
	30	1.0	1.6		+10		
		0.8	1.77				
		0.7	1.77				
	45	1.0	2.44	0.87	+4	0	
		0.8	2.53	0.87			
		0.7	2.53	0.87			
0.22	30	0.5	2.43		+10		
		0.3	2.67				
	45	0.5	3.71	1.56	+14	-7.4	
		0.3	4.22	1.44			
	30	1.0	1.6		+10		
		0.8	1.77				
		0.7	1.77				
	45	1.0	2.8	2.33	+3	-14	
		0.8	2.82	2.11			
		0.7	2.89	2.0			